POURQUOI LES BOULONS SE DESSERRENT-ILS

Les assemblages boulonnés sont conçus pour maintenir l'intégrité d'une application en empêchant les différents composants de se desserrer, même lorsqu'ils sont soumis à des conditions telles que des vibrations, des charges dynamiques, des flexions et des variations de température. Bien que, théoriquement, le serrage d'un assemblage boulonné avec la précharge correcte devrait suffire à empêcher son desserrage, cela ne fonctionne pas toujours en pratique.

Ce livre évaluera et comparera les méthodes courantes de sécurisation des assemblages boulonnés contre le desserrage tout au long de la durée de vie de l'assemblage. Il fournira des indications concernant la méthode de sécurisation la plus appropriée à choisir pour l'assemblage en question.

Les méthodes de sécurisation telles que la FRICTION, le MÉCANIQUE, l'ADHÉSIF et la GÉOMÉTRIE seront présentées et évaluées à l'aide de critères spécifiques incluant la performance, le coût et la sécurité des travailleurs.

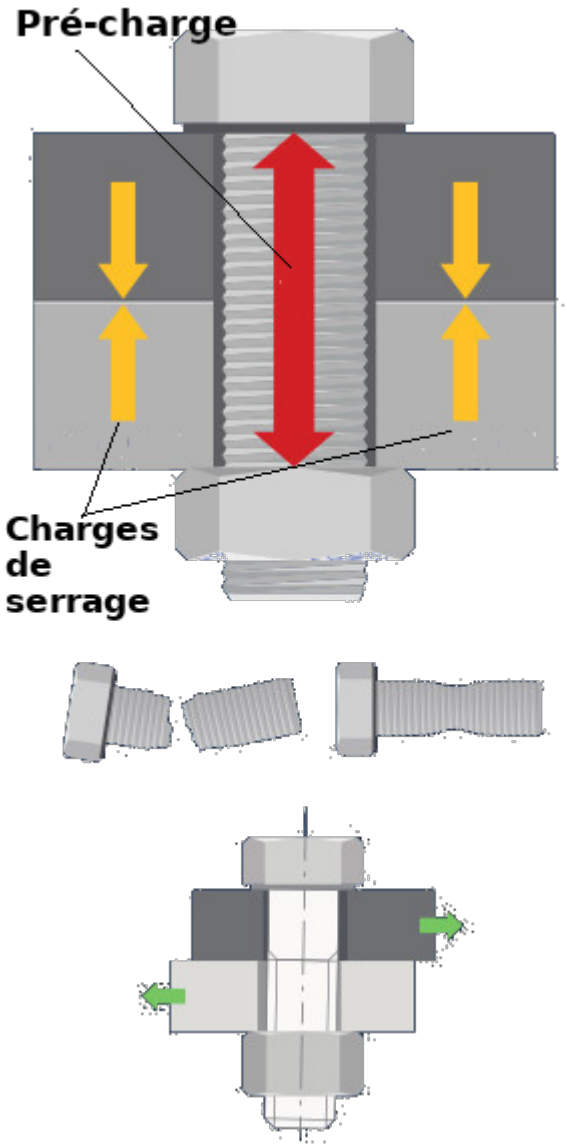
DÉFIS ET CONSÉQUENCES

Selon l'application, le desserrage des boulons peut avoir des conséquences profondes tant en termes de coût que de sécurité. Par conséquent, l'élément le plus important pour un assemblage boulonné est que la précharge reste intacte tout au long de sa durée de vie, car sans une précharge adéquate, l'assemblage échouera.

La précharge est la tension créée dans un élément de fixation lorsqu'il est serré. Sa fonction est d'empêcher le glissement et l'ouverture des pièces serrées. Plus la précharge est précise, plus le boulon devrait être protégé contre le desserrage. Lorsque le boulon s'allonge, les composants situés entre le boulon et l'écrou se compressent, augmentant ainsi la force de serrage jusqu'à la fin du processus de serrage.

Si la précharge est trop élevée, il existe un risque d'endommager les pièces serrées. Il y a également un risque d'étirer excessivement le boulon, ce qui, dans le pire des cas, pourrait entraîner sa rupture.

Si la précharge est trop faible, il existe un risque de mouvement des pièces dans l'assemblage, ce qui pourrait provoquer une rupture par cisaillement du boulon. Lorsqu'il est soumis à des forces cycliques externes, il y aura de fortes variations de charge à l'intérieur du boulon, pouvant entraîner sa rupture même si les charges n'ont pas dépassé les limites du matériau du boulon.



QU’EST-CE QUI PROVOQUE LA PERTE DE PRÉCHARGE ?

Les plus grands défis pour un assemblage boulonné, qui entraînent une perte de précharge et un échec, sont le desserrage spontané.

Desserrage spontané : chocs, vibrations, charges dynamiques

Le desserrage spontané se produit lorsqu’un boulon se dévisse sous l’effet de facteurs externes tels que les vibrations, les chocs et les charges dynamiques (flexion). Les applications les plus exigeantes sont continuellement soumises à des charges dynamiques, et même une légère rotation de l’élément de fixation peut suffire à faire perdre une grande partie de la précharge de l’assemblage.

Relâchement : tassement, fluage, relaxation

Le tassement est une déformation permanente du matériau serré. Il se produit souvent en présence d’irrégularités de surface ou de surfaces tendres.

Le fluage est une déformation permanente qui survient en raison d’une exposition prolongée à des niveaux élevés de contrainte inférieurs à la limite d’élasticité des matériaux de l’assemblage. Il est plus sévère dans les applications à haute température.

La relaxation est une déformation du matériau due à une combinaison de charge et de temps, qui provoque une restructuration de la microstructure des matériaux de l’assemblage. Elle survient souvent dans les matériaux métalliques tendres, les polymères et les composites. Contrairement au tassement ou au fluage, la longueur de

serrage ne change pas, ce qui la rend plus difficile à détecter.

MÉTHODES DE BLOCAGE

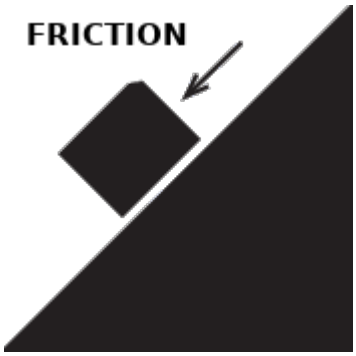
DES BOULONS

Lors du choix d’une méthode pour empêcher les boulons de se desserrer dans un assemblage, de nombreuses options existent.

Il est nécessaire d’évaluer le risque de défaillance de l’assemblage ainsi que les charges dynamiques auxquelles il sera soumis au cours de sa durée de vie.

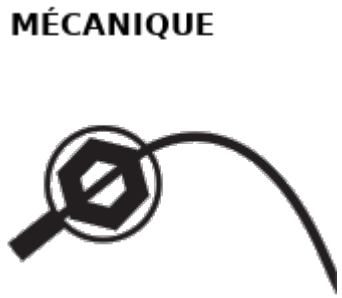
Ce n’est qu’ensuite que l’on peut sélectionner parmi certains des principes les plus couramment utilisés et, à partir de là, trouver une solution adaptée à l’assemblage spécifique concerné.

Tous les assemblages boulonnés sont uniques et doivent être traités comme tels.



Les méthodes de blocage par friction reposent sur la prévention du glissement des surfaces l’une contre l’autre en augmentant la résistance (friction) entre ces surfaces de contact. L’augmentation de la friction entre les filets mâles et femelles, ou entre l’élément de fixation et la surface de contact, crée une résistance au desserrage.

Les dispositifs de blocage utilisant ce principe comprennent les rondelles fendues, les rondelles dentelées et à griffes. Les écrous à insert en nylon appartiennent également à cette catégorie.



Le blocage mécanique utilise une barrière physique visant à empêcher l’élément de fixation de tourner.

Les dispositifs de blocage mécanique comprennent les rondelles à languette, qui possèdent une languette pouvant être relevée pour bloquer l’écrou en place, ainsi que les fils de blocage, qui peuvent être passés à travers un trou dans la tête de boulon ou l’écrou, puis fixés à un autre élément de fixation proche.

Ces deux solutions peuvent empêcher l’élément de fixation de tourner complètement, mais il convient de noter qu’une partie de la précharge peut se perdre avec le temps sous l’effet des charges dynamiques.

ADHÉSIF



Cette méthode utilise un liquide, appelé adhésif de blocage des filetages, pour empêcher un assemblage boulonné de se desserrer. L’adhésif est appliqué sur le filetage de l’élément de fixation.

Les adhésifs ne sont pas limités par la taille de l’élément de fixation utilisé ; cependant, ils présentent un risque d’exposition chimique et peuvent être dangereux pour la santé. Ils peuvent également avoir un effet défavorable significatif sur le rapport couple/charge, entraînant une précharge incontrôlée lors du serrage.

GÉOMÉTRIE



La méthode géométrique utilise la forme de l’élément de fixation pour sécuriser l’assemblage boulonné lorsqu’il est soumis à des vibrations et des charges dynamiques.

Le système le plus courant, la rondelle de blocage à coin, se compose d’une paire de rondelles avec des cames d’un côté et des dentelures de l’autre. Les dentelures obligent tout mouvement de rotation à se produire entre les rondelles, et la géométrie des cames entraîne une augmentation de la tension dans le boulon si celui-ci tente de se desserrer.

Cela permet de sécuriser l’assemblage en toute sécurité.

NOTES & VALEURS

GUIDE POUR LE CHOIX

Notes du Guide

FONCTIONNALITÉ

CAPACITÉ DE BLOCAGE
La résistance de la méthode ou du produit au desserrage, causé par la flexion de l’assemblage, les vibrations, les charges dynamiques ou les cycles thermiques.

RÉUTILISABILITÉ
La méthode ou le produit peut-il être réutilisé, par exemple lors d’une maintenance planifiée, ou doit-il être jeté et remplacé par un neuf ?

SÉCURITÉ DE L’ASSEMBLAGE BOULONNÉ

SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS
Certaines méthodes et produits de sécurisation des boulons sont associées à des problèmes de santé et de sécurité. Par exemple, il existe un lien établi entre l'utilisation des rondelles à languette et les blessures aux mains.

COÛT LIÉ À LA MÉTHODE OU AU TYPE

COÛT INITIAL
Le coût combiné d'achat et de première installation de la méthode ou du produit.

COÛT TOTAL SUR LA DURÉE DE VIE
Le coût combiné d'achat, d'installation et de maintenance de la méthode ou du produit pendant toute la durée de vie de l'application.
Il convient de noter que les inspections répétées, la maintenance et le resserrage peuvent représenter un coût significatif pour l'opérateur / propriétaire. Les pannes et les réparations peuvent également augmenter considérablement ces coûts, mais elles ne sont pas incluses ici

Utilisation du Guide

pour le choix

Chaque groupe de produits dans le guide de sélection est basé sur une gamme de produits (du même type général) provenant de différents fabricants.

Il faut reconnaître que, dans chaque groupe, certains produits peuvent fonctionner mieux ou moins bien que d'autres.

Nous avons donc considéré une valeur moyenne pour chacun des critères de chaque groupe de produits.

Par exemple, même au sein d'un groupe de produits ayant une cote élevée pour la capacité de blocage, il peut y avoir des fabricants de faible qualité dont les produits ne fonctionnent pas lors des tests.

La prudence de l'acheteur s'applique toujours.

Valeurs d'Évaluation



ADAPTÉ / OUI

NON ADAPTÉ / NON

NON APPLICABLE

GUIDE DE SÉLECTION

Capacité de blocage

Réutilisabilité

Sécurité utilisateur

Coût initial

Coût sur la durée de vie

Rondelle plate



Faible

Elevé

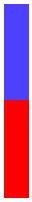
Rondelle-ressort à disque



Moyen

Elevé

Rondelle frein crantée



Moyen

Moyen

Rondelle Grower





Faible

Elevé

Rondelle frein à dents



Faible

Elevé

Ecrou Nylstop



Moyen

Moyen

Ecrou double



Moyen

Moyen

Rondelle frein à ergot.



Elevé

Moyen

Fil à freiner



Elevé

Moyen

Adhésif



Moyen

Moyen

Rondelle Nord-Lock



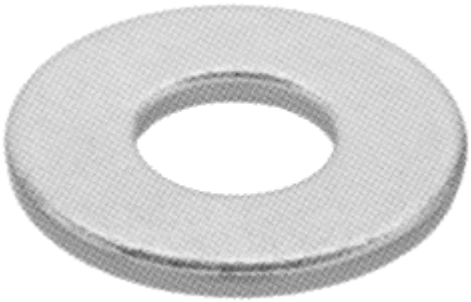
Elevé

Faible

RONDELLE PLATE

+

- Protège la surface de contact



–

- Aucune fonction de blocage

Les rondelles plates, également appelées rondelles lisses, sont le type de rondelle le plus courant.

Les rondelles plates n’ont pas de fonction de verrouillage ; elles sont utilisées pour protéger la surface d’accouplement contre les dommages.

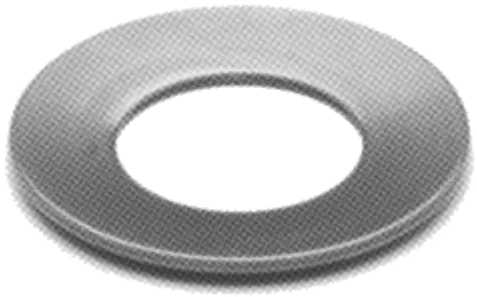
Elles remplissent ce rôle en augmentant la surface d’appui afin de mieux répartir la charge, en particulier sur les matériaux tendres ou au niveau des trous larges ou oblongs.

Les rondelles plates sont installées entre la tête de la vis ou l’écrou et la surface d’accouplement. L’assemblage boulonné est ensuite serré de la même manière qu’un boulon non sécurisé.

RONDELLE RESSORT

+

- Anti affaissement



–

- Aucune capacité de blocage
- Coût de maintenance élevé

Les rondelles ressort, également appelées ressorts disques ou rondelles coniques, utilisent la force du ressort pour créer une flexibilité axiale. Cela contrecarre les affaissements et maintient un niveau initial de précontrainte.

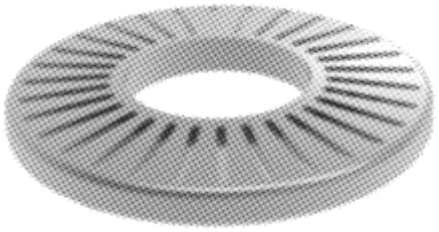
Les rondelles sont installées entre la tête de la vis ou l’écrou et la surface d’accouplement. Les capacités mécaniques des rondelles ressort dépendent de la forme du matériau. Lorsqu’elles sont soumises à une charge, les rondelles subissent une déformation élastique, puis reprennent leur forme initiale après flexion. Elles peuvent être empilées, ce qui permet de varier la déflexion et la capacité de charge sans affecter matériellement les forces. Les forces générées par les rondelles peuvent varier selon l’épaisseur du matériau, la courbure et la taille, ce qui permet à l’opérateur de personnaliser les charges de ressort utilisées.

Les rondelles ressort sont utilisées dans des applications où les assemblages doivent occuper l’espace, maintenir la tension, éliminer les vibrations, compenser l’expansion/la contraction, absorber les chocs et/ou contrôler la réaction sous des charges dynamiques. Elles sont courantes sur les brides de tuyaux pour lutter contre les fuites de brides dues à des températures élevées et des pressions variables. Lorsque la température augmente, l’élasticité du matériau et la capacité de charge de la rondelle diminuent.

RONDELLE FREIN CRANTEE

+

- Installation rapide et facile



–

- Capacité de blocage insuffisante
- Ne doit pas être lubrifiée
- Les rondelles dentelées simples endomagent les surfaces de contact

Les rondelles de frein crantées augmentent la friction entre la tête de la vis/l'écrou et la surface d'appui. Elles le font en mordant dans les surfaces d'appui. Les rondelles de frein crantées sont installées entre la tête de vis/l'écrou et la surface d'appui. L'assemblage boulonné est ensuite serré de la même manière qu'un boulon non sécurisé. Si l'assemblage boulonné perd de la tension, la rondelle n'est plus efficace et doit être remplacée.

Les rondelles crantées simples peuvent endommager les surfaces peintes/revêtues car elles ont tendance à tourner avec l'élément de fixation. Cela risque d'endommager la surface, de fissurer la peinture/le revêtement et de provoquer de la corrosion.

Ce principe fonctionne mieux sur les matériaux plus tendres, car il est plus facile pour les crans d'y pénétrer.

RONDELLE GROWER

+

- Faible prix d'achat
- Rapide et facile à installer



–

- Capacité de blocage médiocre
- Ne doit pas être lubrifiée
- Endomagent les surfaces de contact

Les rondelles Grower ou rondelles à ressort fendues utilisent la friction pour empêcher les assemblages boulonnés de se desserrer. Elles se présentent sous la forme d'un anneau fendu et vrillé – créant deux arêtes vives. Ces rondelles sont installées entre la tête de vis/l'écrou et la surface d'appui, puis l'assemblage boulonné est serré de la même manière qu'un boulon non sécurisé. Lorsque l'écrou est serré, la rondelle s'écrase, enfonçant les arêtes vives dans la surface d'appui.

Toute capacité de blocage fonctionne mieux sur les matériaux plus tendres, car il est plus facile pour les arêtes d'y pénétrer. Elle est inefficace pour bloquer les assemblages soumis à des niveaux plus élevés de charges dynamiques. Elle est également inefficace lorsque l'assemblage boulonné nécessite une lubrification, car celle-ci favorise le glissement et la rotation de la vis.

Elle peut même être contre-productive, car les rondelles à ressort fendues de mauvaise qualité se fissurent avec le temps dans la zone comprimée du ressort et peuvent accélérer le desserrage par effet de ressort.

RONDELLE FREIN DENTELEE

(Rondelles de contacts électriques)

+

- Faible prix d'achat



–

- Peu fiable
- Capacité de blocage très médiocre
- Ne peut pas être réutilisée

Les rondelles de blocage à dents sont conçues pour empêcher les assemblages boulonnés de se desserrer en utilisant la friction. De manière similaire aux rondelles crantées, les rondelles de blocage à dents présentent des dentelures en forme de dents, soit à l'intérieur soit à l'extérieur. Elles sont installées entre la tête de vis/l'écrou et la surface d'appui, puis l'assemblage boulonné est serré de la même manière qu'un écrou non sécurisé. Lorsque l'assemblage est serré, ces dents mordent dans la surface d'appui.

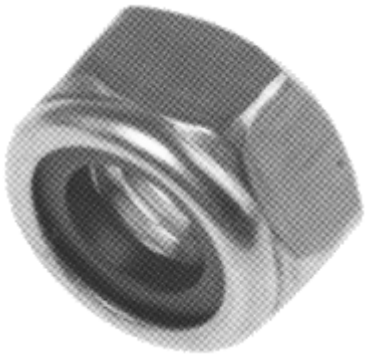
Ces rondelles fonctionnent mieux avec des surfaces tendres, car les surfaces dures aplatissent les dents, les empêchant de mordre efficacement dans la surface et de sécuriser l'assemblage.

La surface d'appui plus petite des rondelles de blocage à dents internes implique qu'elles sont moins efficaces que celles à dents externes.

ECROU DE BLOCAGE OU NYLSTOP

+

- Assure l’adhérence boulon/écrou



–

- Capacité de blocage limilitée
- Les capacités de blocage diminuent avec les réutilisations
- Ne doit pas être lubrifié

Les écrous de blocage permettent de sécuriser les assemblages boulonnés en ajoutant de la friction au filetage de la vis. Il existe différentes variétés d’écrous de blocage : ceux qui utilisent le métal pour créer la friction, comme l’écrou tout en métal, et ceux qui intègrent un polymère dans leur conception, comme l’écrou à insert en nylon. Les écrous de blocage suivent la même procédure d’installation que les écrous normaux. L’écrou à insert en nylon comporte une rondelle ou une pastille interne en nylon.

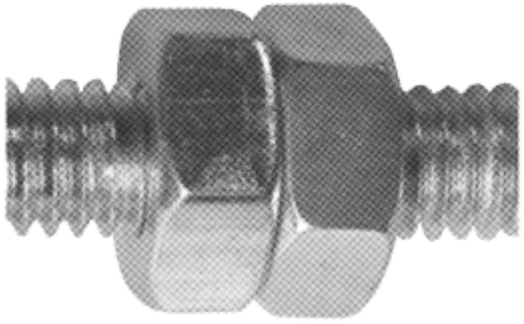
L’ajout de ce composant non métallique rend l’écrou à insert en nylon plus sensible à la température et aux produits chimiques. Il nécessite également l’utilisation d’un outil pour l’installation, cependant, la vitesse de rotation doit être inférieure à 150 tr/min afin d’éviter la surchauffe de l’insert en nylon.

Les écrous tout en métal ne présentent pas autant de restrictions liées à la température ou aux produits chimiques, toutefois ils sont plus susceptibles de subir du grippage de filets. Le principal avantage de l’écrou de blocage est sa capacité à rester en place sur la vis, même s’il s’est desserré.

ECROU DOUBLE

+

- Pratique
- Faciement disponible
- Bon marché



–

- Capacité de blocage limilitée
- Nécessite un boulon plus long et deux écrous
- Procédure de mise en place plus compliquée

Le double écrou, également appelé contre-écrou, est une méthode de blocage par friction qui utilise deux écrous distincts l'un sur l'autre.

Il faut être prudent lors du serrage du deuxième écrou, car un serrage excessif peut entraîner l'arrachement des filets ou la rupture en traction de la vis. Bien que les écrous utilisés pour cette méthode nécessitent peu d'investissement, le processus d'installation est chronophage et dépend de la compétence de l'opérateur.

C'est également une méthode de blocage peu fiable, qui protège mal contre les vibrations, ce qui implique des inspections et une maintenance fréquentes – augmentant ainsi les coûts à long terme. Elle est particulièrement inefficace lorsque l'assemblage boulonné doit être lubrifié.

RONDELLE A LANGUETTE

+

- Bonne capacité de blocage
- Faible prix d'achat
- Peu être lubrifiée



–

- Temps de mise en place long
- Nécessite le savoir-faire de l'opérateur
- Ne peut pas être réutilisée

Les rondelles à languette ou à ergot sont une solution de blocage mécanique qui sécurise les assemblages boulonnés en utilisant une barrière physique. La rondelle elle-même est une fine pièce de métal, généralement rectangulaire ou circulaire. La rondelle à ergot est installée entre la tête de vis/l'écrou et la surface d'appui, et l'assemblage boulonné est serré comme un boulon classique.

Une fois le boulon serré, la partie à ergot de la rondelle est rabattue autour de la tête de vis/de l'écrou pour le bloquer en place et empêcher toute rotation. La fonction de blocage de la rondelle est généralement bonne, cependant de nombreux cas de rondelles à ergot mal installées, et donc inefficaces, ont été signalés par de grands MRO et des propriétaires d'actifs.

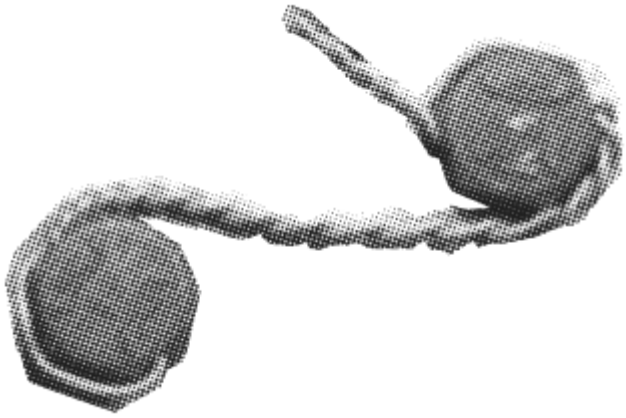
Le principal inconvénient est la complexité de la méthode de montage. Non seulement cela augmente le temps d'assemblage, mais cela signifie également que la capacité de blocage de la rondelle à ergot peut varier considérablement selon la compétence de l'opérateur. De multiples blessures ont également été signalées chez

les opérateurs, notamment lors de la dépose, puisqu'il faut marteler les rondelles à ergot pour les enlever. Les rondelles à ergot ne peuvent pas être réutilisées car elles se déforment lorsqu'elles sont retirées de l'assemblage boulonné.

FIL A FREINER

+

- Bonne capacité de blocage
- Peu être lubrifié



–

- Nécessite le savoir-faire de l'opérateur
- Ne peut pas être réutilisée
- Nécessite un équipement dédié pour la mise en place et le démontage

Le fil de blocage, également appelé fil de sécurité ou fil à freiner, est une méthode de blocage mécanique. Cette méthode consiste à enfiler un fil dans un trou percé dans la tête de vis/l'écrou, puis à le torsader pour bloquer ce boulon en place et à répéter ensuite le processus à travers une ou plusieurs têtes de vis/écrous, ce qui permet en pratique de verrouiller ensemble toutes les connexions boulonnées. Tout excédent de fil est retiré une fois le processus terminé.

Il est impératif que le fil soit installé de manière à ce que la tension dans le fil n'autorise la rotation de la tête de vis/de l'écrou que dans le sens du serrage. La tension de chaque section de fil doit également être verrouillée en place afin de ne pas être affectée par le desserrage accidentel d'une autre tête de vis/d'un autre écrou de la série.

Bien que cette méthode offre une résistance raisonnable au desserrage, elle est chronophage à mettre en œuvre et la tête de vis/l'écrou doit être percée afin de créer les trous pour le fil de blocage – ce qui augmente encore le coût. La seule façon de retirer le fil de blocage est de le couper, ce qui signifie qu'il ne peut pas être réutilisé et qu'un nouveau morceau doit être installé à chaque opération de maintenance de l'assemblage boulonné.

ADHESIF

+

- Bonne capacité de blocage
- Pas de restriction due à la taille de l'assemblage



–

- Capacités de blocage variables
- Dépend des produits chimiques utilisés par l’opérateur

L’adhésif est appliqué sur le filetage de la vis et serré immédiatement. Les adhésifs ne peuvent pas être appliqués directement sur l’élément de fixation, car ils nécessitent une surface propre pour assurer une adhérence optimale, ce qui augmente le temps d’installation.

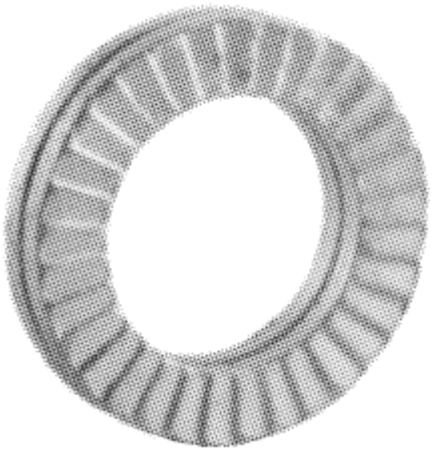
L’adhésif nécessite également un temps de durcissement avant de pouvoir être utilisé en toute sécurité, pouvant aller jusqu’à 24 heures. Il existe de nombreux types d’adhésifs avec des propriétés différentes. Il est important de choisir l’adhésif approprié à votre application, au matériau et à la température afin d’obtenir une capacité de verrouillage optimale. En effet, certains adhésifs peuvent être retirés par chauffage et ne peuvent donc pas être utilisés à haute température.

Les adhésifs ne peuvent pas être réutilisés et certains nécessitent un démontage complexe qui peut endommager ou même casser l’élément de fixation. Bien que cette méthode offre une capacité de verrouillage supérieure à la moyenne, le nombre de variables la rend peu fiable.

RONDELLE NORD-LOCK

+

- Très bonne capacité de blocage
- Haut niveau de sécurité contre le déserrage du boulon
- Sécurise des serrages à forte comme à faible pré-charge



–

- Achat initial plus cher

Le principe du blocage par coin utilise la tension plutôt que la friction pour sécuriser l'assemblage boulonné en place. Il implique une paire de rondelles, qui comportent des cames avec une pente supérieure au pas de filetage de la vis. La paire de rondelles est installée face à face côté cames, entre la tête de vis/l'écrou et l'assemblage, puis le serrage s'effectue de la même manière qu'un boulon non sécurisé. Lorsque la tête de vis/l'écrou est serrée, les dents mordent et verrouillent les surfaces d'appui, n'autorisant le mouvement qu'au niveau des faces de cames. Toute rotation de la vis/de l'écrou est bloquée par l'effet de coin des cames.

Les rondelles de blocage par coin nécessitent un coût initial plus élevé que d'autres fixations, cependant elles sont les plus adaptées aux assemblages boulonnés critiques soumis aux vibrations et aux charges dynamiques, et elles sont réutilisables – ce qui conduit à une réduction des coûts à long terme.

Les applications avec de grands trous/oblongs ou des surfaces sous-jacentes tendres peuvent utiliser des rondelles à diamètre extérieur élargi afin de répartir la charge sur une plus grande surface de contact. Les rondelles de blocage par coin peuvent également être utilisées sur des surfaces revêtues/peintes dans leur version élargie.

Les rondelles de blocage par coin ne sont pas recommandées pour les surfaces d'appui qui ne sont pas verrouillées en place ni pour les applications avec des tassements extrêmes.

COMBATTRE LA CORROSION DU MÉTAL

Tout produit métallique, en particulier ceux dérivés du fer ou de l'acier, finira par rouiller et se désintégrer avec le temps, lorsqu'il est en contact avec l'oxygène et l'eau. Mieux vaut prévenir que guérir car la corrosion peut être retardée mais jamais complètement évitée. Il est donc crucial de choisir le bon matériau et la protection contre la corrosion pour les éléments de fixation.

Il existe plusieurs «pratiques» courantes pour retarder la corrosion des fixations :

- choisir les matériaux les plus adaptés à l'environnement et s'assurer qu'ils ont un potentiel électrique similaire pour éviter la corrosion galvanique
- utiliser une peinture ou un revêtement spécial pour créer une barrière protectrice
- utiliser des anodes sacrificielles pour protéger le produit

Les revêtements à base de flocons de zinc sont une protection très efficace pour les boulons et rondelles en acier. Ces revêtements sont appliqués comme une peinture, puis cuits pour créer une couche sacrificielle protégeant les pièces. Plusieurs autres options existent, notamment la galvanisation à chaud.

COMMENT SE PROTÉGER CONTRE LA CORROSION

- Analyser l'environnement corrosif et les exigences.
- Choisir des matériaux présentant une résistance suffisante à la corrosion (et un potentiel galvanique similaire).
- Choisir une méthode de protection contre la corrosion adaptée.
- Définir les exigences : par exemple, le test de corrosion en brouillard salin ISO 9227, le test électrochimique de corrosion ASTM G48 pour l'acier inoxydable, les classes de corrosion ISO 12944 pour les environnements.

Eau/Humidité



Température



Produits chimiques, sel, pollution

